

北京房山花岗岩原地应力状态 AE 法估计*

李 宏 张伯崇

(中国地震局地壳应力研究所 北京 100085)

摘要 在北京房山花岗岩体中钻了一个深 301 m, 直径 101 mm 的钻孔。从钻孔深度 30~301 m, 利用水泥端帽法对岩芯进行了定向。对深度 270 和 294 m 的定向岩芯进行了声发射 Kaiser 效应试验。水平面内最大主应力的方向基本为南北方向。将声发射 Kaiser 效应测量结果与水压致裂法的测量结果进行了对比, 二者具有很好的一致性。

关键词 岩石力学, 声发射, Kaiser 效应, 地应力

分类号 TU 452

文献标识码 A

文章编号 1000-6915(2004)08-1349-04

IN-SITU STRESS MEASUREMENT OF FANGSHAN GRANITE

Li Hong, Zhang Bochong

(Institute of Crustal Dynamics, CSB, Beijing 100085 China)

Abstract A borehole was drilled in granodiorite rockmass at Fangshan, Beijing. The depth of the borehole is 301 m with diameter of 110 mm. From about 30~301 m, all cores were oriented by cement end cap method. AE Kaiser effect tests on oriented core at depth of 270 m and 294 m were carried out. In horizontal plane, the orientation of larger horizontal principal stress is about the NS. Comparison of the result of AE Kaiser effect tests with that of hydrofracturing shows that they are consistent fundamentally on the whole.

Key words rock mechanics, AE, Kaiser effect, is-situ stresses

1 前 言

声发射(acoustic emission, 简称 AE)是材料受外力或内力作用下, 产生变形或断裂时, 以弹性波的形式释放出的应变能。作为声发射的早期研究者, 德国慕尼黑的 Kaiser 博士对应力引起的声发射模式感兴趣, 他观察到多晶金属上的应力从其历史最高水平释放后, 再重新施加应力, 当应力超过过去的最大值时, 声发射速率明显增加, 这种声发射在从已经受过的应力水平转变为新的应力水平时, 其特征性的增加, 被称为 Kaiser 效应。之后, Goodman 等发现在岩石材料上也存在声发射 Kaiser 效应。

基于岩石声发射 Kaiser 效应 AE 法应力测量需

满足以下基本假定: (1) Kaiser 效应只响应最大压应力, 从原地应力测量角度而言, 对某一方向的试件, 测定的先前应力就是测点在该方向的压应力。(2) 在地质年代内施加的应力作用与相对较短的时间内在试验室施加的应力作用是相同的。在此基础上 AE 法测量地应力的原理是: 在试验室进行单轴压缩试验, 测量由岩石试件产生的 AE, 根据 AE Kaiser 效应求取岩石材料曾经受过的先前应力, 该应力就是岩石在地壳中在试验加载方向所承受的压应力, 通过对不同方向的试件进行试验, 可得到不同方向的压应力。若测得 6 个以上不同方向的压应力, 根据弹性理论就可确定测点的应力张量^[1~5]。

利用岩石声发射 Kaiser 效应测量地应力是日本电力中央研究所金川忠于 1976 年在东京举行的第

2003 年 3 月 24 日收到初稿, 2003 年 7 月 7 日收到修改稿。

* 地震科学联合基金(199023)资助课题。

作者 李 宏 简介: 男, 38 岁, 硕士, 1988 年毕业于中国矿业大学北京研究生部矿山工程力学专业, 现任副研究员, 主要从事原地应力测量技术、测量方法和理论研究。

三届声发射讨论会上提出的^[6]。之后，人们对声发射测量地应力的基础理论、影响因素、与其他方法的对比、试验理论方法及推广应用等进行了大量研究^[7~13]。

本文对房山花岗岩进行了 AE 法地应力测量试验研究，给出了应力测量结果，并与水压致裂法测量结果进行了对比研究。

2 岩性描述与测量方法

2.1 岩性描述

房山花岗岩为燕山期侵入体，未受大的构造运动，岩石较完整、节理不发育，矿物成分以斜长石为主，其次是黑云母和角闪石，石英含量较低，呈中粗花岗结构，偶见由细粒暗色矿物与斜长石组成的直径为几厘米到几十厘米的团块包裹体。

2.2 试件制备

钻孔定向岩芯直径 86 mm。试验试件为圆柱形，直径 30 mm，高度 75 mm。为了减少端部效应引起的噪声干扰，在试件的端部用环氧树脂各粘接一个加载钢端块，做成一个复合型试件。

2.3 测量方法

对试件进行单轴加载，加载速率为 0.008 MPa/s。在上、下加载钢块上各布置一个声发射探头。采用定区记录的方式，利用计算机采集系统和 X-Y 记录仪同时记录在单轴加载作用下，试件中间部位产生的声发射累计数和载荷值。声发射探头是谐振型探头，谐振频率 200 kHz。文[6]比较了不同频率的谐振型探头造成的 Kaiser 效应的明显性，未发现多大的差异。

3 应力解析概述

AE 法求得的应力分量，对一个试件来说，就是加载方向的正应力分量。假定一个主应力的方向为垂直方向，加工试件的方向为垂直 1 个方向和水平面 4 个方向，分别是南北、东北 45°、东西和南东 45°方向，测量深度为 270 和 294 m。考虑到测量值的离散等因素，在 1 个方向上制备了 10~15 个试件。

根据 AE 试验由各个试件求得的应力值是加载方向的正应力分量。因此，在水平面内满足以下方程：

$$\sigma_\theta = \sigma_x \cos^2 \theta + \sigma_y \sin^2 \theta + 2\tau_{xy} \sin \theta \cos \theta \quad (1)$$

式中： σ_θ 为 θ 方向的正应力分量(AE 法的测量值)； σ_x ， σ_y ， τ_{xy} 为以 x ， y 为坐标轴的地应力分量。

因此，以 x 轴为基准(指北方向)，将试件 θ 方向的测量值分别代入式(1)等号左边的 σ_θ 中，则上式成为以 σ_x ， σ_y ， τ_{xy} 为未知数的一次联立方程式，可用最小二乘法求得 σ_x ， σ_y ， τ_{xy} 。

进一步地，由弹性理论，可用下式简单地求出水平面内的最大主应力 σ_H ，最小主应力 σ_h 及其作用方向 α 。

$$\sigma_H = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} \right) \quad (3)$$

4 地应力测量结果

文[7, 8]在用 AE 法进行原地应力测量研究中，发现在第一次加载过程中 Kaiser 效应不明显，提出重复加载的方法确定先前应力。他们认为第一次加载后再一次加载，用两次加载 AE 结果的差更易确定先前应力。在本次研究中，采用了这种方法。图 1, 2 给出了 AE 法应力测量 AE 累计值与载荷的典

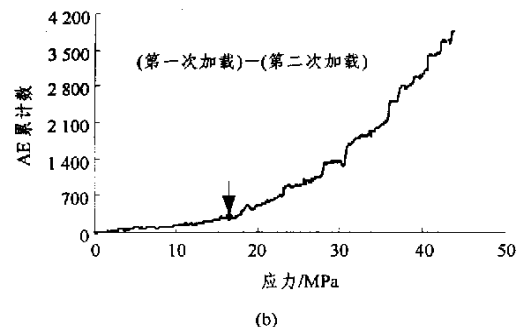
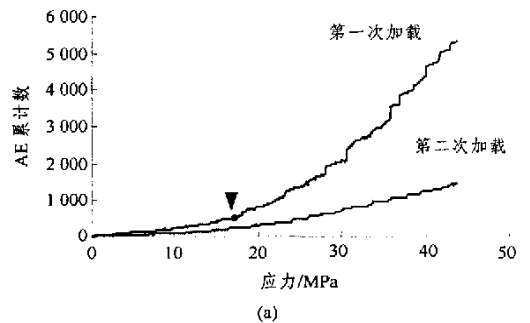


图 1 AE 累计数与加荷载荷的试验曲线 (深度: 270 m, 方向: N135°E)

Fig.1 Typical AE accumulation-stress curves with depth of 270 m and direction of N135°E

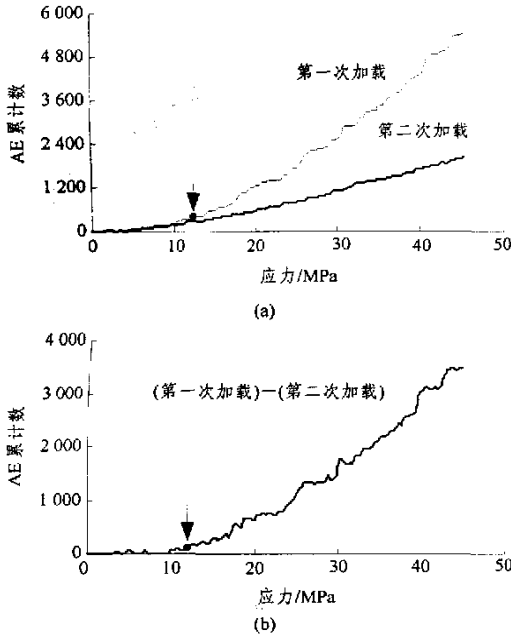


图2 AE 累计数与加荷载荷的试验曲线(深度: 294 m, 方向: EW)

Fig.2 Typical AE accumulation-stress curves with depth of 294 m and direction of EW

型试验曲线, 图(a)是两次加载的试验曲线, 图(b)是两次加载 AE 相减的试验曲线, 图中, Kaiser 效应点用箭头标明。将 AE 测量结果进行应力解析, 得出水平面内最大、最小主应力及最大主应力的作用方向, 结果见图 3, 4 及表 1 所示。

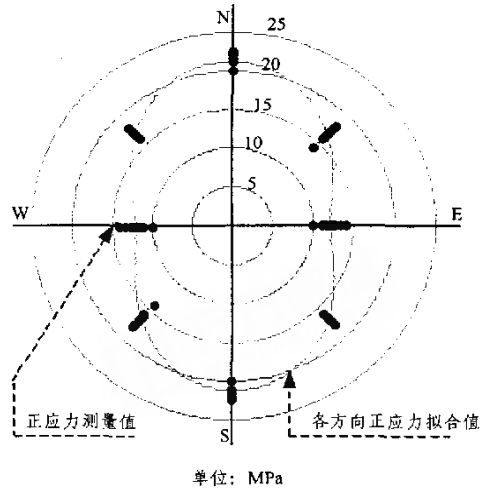


图4 AE 地应力水平主应力分量测量结果及各方向正应力计算结果(深度: 294 m)

Fig.4 Measured and calculated normal stresses in various horizontal directions with depth of 294 m

表1 270 和 294 m AE 法应力测量结果

Table 1 AE test data at depth of 270 and 294 m

各应力分量	270 m 测量结果	294 m 测量结果
最大水平主应力/MPa	21.6	21.2
最小水平主应力/MPa	12.3	12.1
垂直主应力/MPa	7.4	7.8
最大主应力方向	N1°W	N1°W
标准偏差/MPa	1	0.99

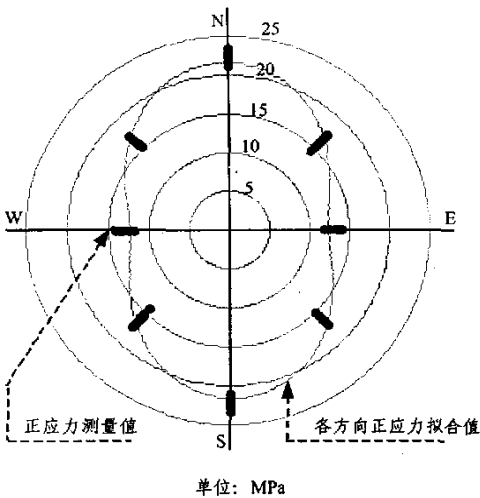


图3 AE 地应力水平主应力分量测量结果及各方向正应力计算结果(深度: 270 m)

Fig.3 Measured and calculated normal stresses in various horizontal directions with depth of 270 m

5 对比分析

5.1 测得的垂直主应力与静岩压力的比较

房山花岗岩干容重为 2.74 g/cm³。两个测段的平均深度分别为 270 和 294 m, 测段所在深度的静岩压力分别为 7.3 和 7.9 MPa, 与 AE 法测量的垂直主应力基本一致。

5.2 AE 法与水压致裂法地应力测量结果的对比

水压致裂法已广泛应用于深孔应力测量, 但仍存在许多需深入研究的问题, 如何正确地确定关闭压力、重张压力及压裂流体的粘滞度、压裂速率和岩体渗透率等因素的影响等。作者在同一钻孔进行了水压致裂应力测量的研究, 估计了最大和最小主应力, 见图 5 所示。

在 270 和 294 m 由水压致裂确定的最大主应力的作用方向基本上是南北方向, 与 AE 法的测量

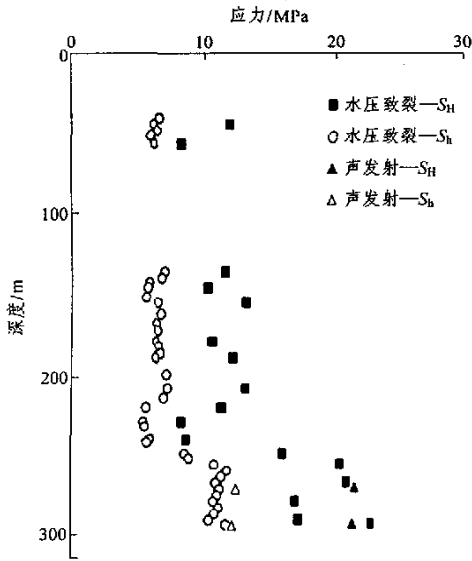


图5 水平面内主应力 AE 法测量结果与水压致裂法对比
Fig.5 Comparison of principal stresses in horizontal plane by HF and AE method

结果相一致。由 AE 法确定的最大、最小主应力标在同一幅图中，它们基本上没有区别。

6 结 论

通过对北京房山花岗岩 300 m 深钻孔中的定向岩芯，进行 AE 法应力测量，并将测量结果与水压致裂法的测量结果进行了对比，证实了 AE 法是一种有效的室内应力测量方法，且在 300 m 深的硬质岩层中的测量结果与水压致裂法具有相同的测量精度。

参 考 文 献

- 1 李 宏, 陈景松, 江南生等. 利用定向岩芯进行 AE 法应力测量[J]. 地质力学学报, 1999, 5(1): 85~89
- 2 Dey T N, Brown D W. Stress measurement in a deep granitic rock mass using hydraulic fracturing and differential strain curve analysis[A]. In: Stephansson O ed. Proc. of 6th International Symposium on Rock Stress and Rock Stress Measurement[C]. Lulea,

- Sweden: [s. n.], 1986, 351~357
- 3 Marsui H, Sato T, Sugihara K. Comparison of the results of stress measurements determined by various methods at the Kamaishi mine[A]. In: Sugawara & Obara ed. Rock Stress[C]. Netherlands: A. A. Balkema, 1997, 95~100
- 4 Kudo R, Yokoyama T. Stress measurements with core samples by AE-DRA methods in the 1995 Hyogoken-nanbu earthquake source region[A]. In: Sugawara & Obara ed. Rock Stress[C]. Netherlands: A. A. Balkema, 1997, 359~362
- 5 李 宏, 大庆深层岩芯 AE 法应力测量报告[R]. 北京: 中国地震局地壳应力研究所, 1998
- 6 Kanagawa T, Hayashi M, Nakasa H. Estimation of spatial geostress components in rock samples using the Kaiser effect of acoustic emission[A]. In: Proc. of 3rd Acoustic Emission Symposium[C]. Tokyo: [s. n.], 1976, 229~248
- 7 Yoshihikawa S, Mogi K. A new method for estimation the crustal stress from cored samples: laboratory study in the case of uniaxial compression[J]. Tectonophysics, 1981, 74: 323~339
- 8 Yoshihikawa S, Mogi K. Experimental studies on the effect of stress history on acoustic emission activity —— a possibility for estimation of rock stress[J]. Journal of Acoustic Emission, 1989, 8(4): 113~123
- 9 Li Chunlin. A theory for Kaiser effect in rock and its potential application[A]. In: Hardy H R ed. Proc. of 6th Conference on AE/MS Activity in Geological Structure and Material[C]. Pennsylvania, USA: The Pennsylvania State University, 1996, 171~186
- 10 Pestman B J, Van Munster J G. An acoustic emission study of damage development and stress-memory effect in sandstone[J]. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 1996, 33(6): 585~593
- 11 Holcomb D J. General theory of the Kaiser effect[J]. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 1993, 30(7): 929~935
- 12 Hugson D R, Crawford A M. Kaiser effect gauging: a new method for determining the pre-existing in-situ stress from an extracted core by acoustic emission[A]. In: Stephansson O ed. Proc. of 6th International Symposium on Rock Stress and Rock Stress Measurement[C]. Lulea, Sweden: [s. n.], 1986, 981~985
- 13 李方全, 张伯崇, 祁英男等. 中国三峡地地下 800 m 深部应力测量——中日合作 AE 法与水压致裂法对比研究[M]. 北京: 地震出版社, 1992

作者: 李宏, 张伯崇
作者单位: 中国地震局地壳应力研究所, 北京, 100085
刊名: 岩石力学与工程学报 ISTIC EI PKU
英文刊名: CHINESE JOURNAL OF ROCK MECHANICS AND ENGINEERING
年, 卷(期): 2004, 23(8)
引用次数: 8次

参考文献(13条)

1. 李宏, 陈景松, 江南生 利用定向岩芯进行AE法应力测量[期刊论文]-地质力学学报 1999(01)
2. Dey T N, Brown D W Stress measurement in a deep granitic rock mass using hydraulic fracturing and differential strain curve analysis 1986
3. Marsui H, Sato T, Sugihara K Comparison of the results of stress measurements determined by various methods at the Kamaishi mine 1997
4. Kudo R, Yokoyama T Stress measurements with core samples by AE-DRA methods in the 1995 Hyogoken-nambu earthquake source region 1997
5. 李宏 大庆深层岩芯AE法应力测量报告 1998
6. Kanagawa T, Hayashi M, Nakasa H Estimation of spatial geostress components in rock samples using the Kaiser effect of acoustic emission 1976
7. Yosihikawa S, Mogi K A new method for estimation the crustal stress from cored samples: laboratory study in the case of uniaxial compression 1981
8. Yosihikawa S, Mogi K Experimental studies on the effect of stress history on acoustic emission activity a possibility for estimation of rock stress 1989(04)
9. Li Chunlin A theory for Kaiser effect in rock and its potential application 1996
10. Pestman B J, Van Munster J G An acoustic emission study of damage development and stress-memory effect in sandstone 1996(06)
11. Holcomb D J General theory of the Kaiser effect 1993(07)
12. Hugson D R, Crawford A M Kaiser effect gauging: a new method for determining the pre-existing in-situ stress from an extracted core by acoustic emission 1986
13. 李方全, 张伯崇, 祁英男 中国三峡地地下800 m深部应力测量-中日合作AE法与水压致裂法对比研究 1992

相似文献(10条)

1. 期刊论文 吴立新, 刘善军, 许向红, 吴育华, 李永强 遥感-岩石力学(III)--交汇断层粘滑的热红外辐射与声发射规律及其构造地震前兆意义 -岩石力学与工程学报2004, 23(3)

以构造地震孕育机制之三即交汇断层粘滑发震为模拟对象, 利用双轴加载实验系统和红外热像仪对自然界经常出现的断层组合模式—不同交汇角度的组合断层的物理模型进行了室内加载实验, 利用红外热像仪和声发射仪分别测定了加载过程中试样表面的红外辐射及断层活动的声发射时间序列。结果表明: (1) 声发射及红外辐射的时间序列特征受加载过程中试样的力学行为所控制, 并表现出阶段性变化特点; (2) 声发射与红外辐射特征与断层几何结构有密切关系, 当主应力与主断层成 45° 角时, 红外辐射异常区主要沿主断层发育; (3) 垂直交汇的断层与斜交断层的声发射及红外辐射特征有明显差异, 交汇角度($1^\circ \sim 90^\circ$)越大, 交汇点处的红外辐射异常越明显。

2. 期刊论文 苏承东, 高保彬, 南华, 李小军, SU Chengdong, GAO Baobin, NAN Hua, LI Xiaojun 不同应力路径下煤样变形破坏过程声发射特征的试验研究 -岩石力学与工程学报2009, 28(4)

利用RMT-150B岩石力学试验机对义马耿村具有冲击倾向性煤样进行常规单轴、三轴和三轴卸围压试验, 研究在不同应力路径下煤样变形破坏过程中的声发射特征。试验结果表明, 煤样在不同应力路径下加载变形破坏过程中产生的声发射特征有所差异, 常规单轴压缩过程中各个阶段均有不同程度的声发射事件, 与三轴筒内单轴压缩相比, 声发射累计数和能量明显偏大, 破坏瞬时的声发射计数和能量大致相当; 常规三轴压缩试验时, 在围压作用下煤样屈服前声发射事件较少, 进入屈服阶段声发射事件逐渐趋于活跃, 计数和能量大幅度增大, 标志煤样破坏前兆, 破坏瞬时声发射计数和能量达到最大值; 三轴卸围压试验时, 在卸围压前煤样处于弹性阶段声发射事件较少, 随围压逐渐降低, 由正应力提供的摩擦力不断减小, 煤样内部材料强度相对较低逐步屈服破坏形

成微裂纹。屈服前期产生少量声发射事件,屈服后期声发射事件逐渐趋于活跃,计数和能量大幅度增大,标志煤样卸围压破坏前兆,破坏瞬间计数和能量同时达到最大值,与常规三轴压缩相比,声发射计数更大,能量则更高,表明三轴卸围压煤样破坏时更加强烈;常规单轴压缩煤样破坏产生的声发射累计计数和累计能量明显偏大,三轴筒内单轴、常规三轴压缩以及三轴卸围压试验时,声发射累计计数和能量大致相同,没有明显差异。

3. 会议论文 [刘竹华, 孙晓利, 张承娟](#) [AE—400B声发射仪及其岩石声发射实验监测系统](#) 1989

4. 期刊论文 [赵奎, 邓飞, 金解放, 何国强, 刘洪兴, ZHAO Kui, DENG Fei, JIN Jiefang, HE Guoqiang, LIU Hongxing](#) [岩石声发射Kaiser点信号的小波分析及其应用初步研究—岩石力学与工程学报](#)2006, 25(z2)

针对目前岩石声发射采用参数法确定Kaiser点所存在的问题,提出基于波形分析的确定Kaiser点的小波分析方法。利用RMT-150C岩石力学试验系统与WAE2002型全波形多通道声发射检测仪,进行单轴加载岩石破坏全过程声发射试验。首先,对砂岩声发射Kaiser点信号进行了频谱分析,确定了Kaiser点信号的频率范围,提出基于小波变换的Kaiser点信号的信噪分离方法;其次,进行现场套孔砂岩岩芯的单轴加载声发射试验,结合Kaiser效应原理和现场实测结果确定了Kaiser点,提取相应的波形信号,并进行小波降噪处理。研究结果表明,小波分析是处理岩石声发射Kaiser点信号的一种有效的方法,从而为通过波形分析方法确定岩石声发射Kaiser点及声发射机制研究奠定了一定的试验基础。

5. 期刊论文 [尹贤刚, 李庶林, 唐海燕, 裴建良, YIN Xiangang, LI Shulin, TANG Haiyan, PEI Jianliang](#) [岩石破坏声发射平静期及其分形特征研究—岩石力学与工程学报](#)2009, 28(z2)

通过岩石加载的室内试验方法,测试不同岩石破裂全过程的力学特征及其声发射特性,得到岩石破坏全过程力学特性—岩石的全应力—应变曲线、声发射事件累积数、声发射事件率等相关曲线及参数,给出声发射事件数、事件率与应力水平、时间之间的关系。着重讨论一次性加载过程中塑性变形阶段明显的岩石在加载接近峰值强度时单位时间内的应力增长速度减小,也即这一阶段出现明显的“耗吋”现象;并且在此阶段监测到的声发射事件率出现明显下降,出现声发射相对平静阶段;而对于塑性变形阶段不明显的岩石来说,这一阶段则基本不存在明显的“耗吋”现象,声发射的监测中也没有发现声发射相对平静期现象。另外,还运用分形理论,研究分析处于不同加载应力比的岩样在各个阶段的声发射分形维数,特别是研究声发射平静期维数变化情况。指出在加载初期分形维数处于较低值,且分形维数随加载应力增加而逐步增加;在加载到峰值应力的40%左右时,分形维数开始下降;在加载接近到峰值应力时,即处于声发射平静期阶段时分形维数逐步降到最低,且此时预示着岩石的破坏。此外,结合室内试验,还对现场岩体失稳破坏声发射监测中的一些实际问题进行总结和分析,为更好地应用声发射手段进行岩体稳定性现场监测预报提供理论依据、方法和手段。

6. 期刊论文 [刘保县, 黄敬林, 王泽云, 刘立, LIU Baoxian, HUANG Jinglin, WANG Zeyun, LIU Li](#) [单轴压缩煤岩损伤演化及声发射特性研究—岩石力学与工程学报](#)2009, 28(z1)

为建立声发射参数与岩石(煤岩)力学破坏机制的关系,更好地了解受载煤岩体的损伤演化规律,进一步揭示煤岩动力灾害演化过程及灾害时间效应产生机制,利用MTS815岩石力学测试电液伺服试验系统和8CHS PCI-2声发射检测系统,对单轴压缩煤岩的损伤演化及声发射特性进行试验研究,分析单轴压缩煤岩的声发射特性,提出基于“归一化”累积声发射振铃计数的损伤变量,建立基于声发射特性的单轴压缩煤岩损伤模型,得出煤岩的损伤演化曲线和方程。研究表明,声发射信息反映煤岩内部的损伤破坏情况,与其内部原生裂隙的压密及新裂隙的产生、扩展、贯通等演化过程密切相关,煤岩的声发射特征能较好地描述其变形和损伤演化特性。基于声发射特性的单轴压缩煤岩损伤模型是合理的,单轴压缩煤岩损伤演化过程可分为3个阶段:初始损伤阶段、损伤稳定演化和发展阶段、损伤加速发展阶段。煤岩由变形至破坏可视为一逐渐发展过程:由变形、损伤的萌生和演化,直至出现宏观裂纹,再由裂纹扩展到破坏的全过程。

7. 期刊论文 [张茹, 谢和平, 刘建锋, 邓建辉, 彭琦, ZHANG Ru, XIE Heping, LIU Jianfeng, DENG Jianhui, PENG Qi](#) [单轴多级加载岩石破坏声发射特性试验研究—岩石力学与工程学报](#)2006, 25(12)

在单轴多级加载条件下,进行花岗岩破坏全过程的声发射试验研究,得到应力—应变、声发射参数与应力和时间的关系。研究结果表明:每级荷载稳压时AE事件率、能率降低,而AE事件数基本稳定或增加平缓,表明稳压阶段试样内原有裂纹未发展、新生裂纹少,声发射水平低。随时间的延长和轴向荷载的增加,AE事件率增加,表明试样内裂纹逐渐增多或其在裂隙逐步贯通。室内单轴多级加载试验在一定程度上反映出地下厂房分级开挖时应力调整前后声发射的趋势变化,建议在高地应力区进行水地下厂房岩爆等地质灾害的现场声发射监测时,应选取合适的监测时机,特别要在上下台阶贯通时加强监测。整个加载过程中存在初始区、剧烈区和下降区,多数试样临近峰值强度时声发射活动活跃,而后AE事件数趋于平缓,AE事件率下降,出现声发射平静期现象。与其他学者的室内和现场试验研究成果作一一对比,认为岩体破坏发生前多出现声发射的突然下降或相对平静期现象,并在物理过程上对此作一探讨,为现场岩体稳定性监测与预报的判据提供借鉴和思路。

8. 会议论文 [尹贤刚, 李庶林, 唐海燕](#) [岩石破坏声发射强度分形特征研究](#) 2005

本文通过对岩石单轴受压破坏全过程的声发射实验,建立了岩石破坏声发射强度分形模型,研究了岩石破坏全过程各个应力水平声发射分形特征以及分形维数随实验时间的变化规律。研究结果表明:加载初期岩石试件声发射强度分形维数变化不稳定,分形维数的大小变化有反复,但从分形维数总的变化趋势来看,这一阶段的分形维数还是处于较大水平;加载中后期声发射强度分形维数出现较强的规律性,其值逐渐由大变小,试件破坏前的分形维数最小。由于实际应用中最小分形维数点(临界值点)难以确定,故提出将岩石破坏前声发射强度分形维数的持续降低作为岩石破坏的前兆特征,从而对利用声发射参数进行岩体稳定性现场监测预报提供理论依据、方法和手段。

9. 期刊论文 [李庶林, 尹贤刚, 王泳嘉, 唐海燕](#) [单轴受压岩石破坏全过程声发射特征研究—岩石力学与工程学报](#) 2004, 23(15)

在刚性试验机上,对单轴受压岩石破坏全过程进行声发射试验,得到了岩石破坏全过程力学特征和声发射特征,包括岩石应力—应变曲线、声发射事件数等,研究了声发射事件数(AE数)、事件率与应力、时间之间的关系。研究表明:岩石在一次性加载过程中,不是所有的岩石都具有典型的Kaiser效应的声发射特征点;在弹性阶段的初期和后期,随着应力水平的增加岩石声发射显著增加,特别在弹塑性高应力阶段,岩石声发射增长迅速;岩样在试验接近峰值强度时单位时间内的应力增长速度减小,声发射事件率出现明显下降,即出现相对平静阶段;声发射事件率在不同应力水平变化很大,峰值强度后的声发射现象仍然明显,其声发射特征随岩样破坏形式的不同而不同。

10. 期刊论文 [张志镇, 高峰, 徐小丽](#) [花岗岩单轴压缩的声发射特征及热力耦合模型—地下空间与工程学报](#)2010, 6(1)

通过高温后花岗岩的单轴压缩及声发射试验,研究了各温度水平下试件纵波波速的变化及应力—应变曲线与声发射曲线的关联,并提出由累积声发射频率数表征的损伤变量,然后依此损伤变量导出温度—应力耦合模型。研究表明:试件的纵波波速随温度的升高而降低,而且降低的幅度逐渐增大;应力—应变曲线与声发射曲线吻合得较好,主要分为六个阶段,声发射总是发生在加载曲线的转折点,意味着能量的突变;耦合模型理论曲线与试验曲线总体形状相类似,较好地反映了花岗岩的脆性。

引证文献(8条)

1. [董树文, 李廷栋](#) [SinoProbe——中国深部探测实验\[期刊论文\]-地质量报](#) 2009(7)

2. [赵奎, 金解放, 刘明松, 王晓军, 何国强, 支学艺](#) [岩石点荷载作用下对应力记忆效应的声发射数值模拟与试验研究\[期刊论文\]-岩石力学与工程学报](#) 2009(z1)

3. [赵奎](#), [王更峰](#), [王晓军](#), [金解放](#), [邓飞](#) [岩石声发射Kaiser点信号频带能量分布和分形特征研究](#)[期刊论文]-[岩土力学](#) 2008(11)
4. [谢强](#), [Carlos Dinis da Gama](#), [余贤斌](#) [细晶花岗岩的声发射特征试验研究](#)[期刊论文]-[岩土工程学报](#) 2008(5)
5. [韩金良](#), [吴树仁](#), [谭成轩](#), [孙炜峰](#), [张春山](#), [丁原辰](#), [彭华](#) [东秦岭东江口花岗岩体水压致裂法与AE法地应力测量对比研究](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2007(1)
6. [赵奎](#), [邓飞](#), [金解放](#), [何国强](#), [刘洪兴](#) [岩石声发射Kaiser点信号的小波分析及其应用初步研究](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2006(z2)
7. [刘威](#) [岩体稳定性声发射预测预报新技术](#)[学位论文]硕士 2006
8. [应用Kaiser效应测定某水电站右坝肩地应力](#)[期刊论文]-[水土保持研究](#) 2005(6)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_yslxygxcb200408022.aspx

下载时间: 2010年5月31日